

М. А. БОСИНЗОН

# СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЧПУ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Б. И. ЧЕРПАКОВА

*Рекомендовано*

*Федеральным государственным учреждением  
«Федеральный институт развития образования»  
в качестве учебного пособия для использования в учебном процессе  
образовательных учреждений, реализующих программы  
начального профессионального образования*

*Регистрационный номер рецензии 487  
от 02 июля 2009 г. ФГУ «ФИРО»*

5-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2012

УДК 621.7(075.32)

ББК 34.5я722

Б85

Рецензенты:

зам. директора ГОУ СПО Колледж автоматизации и информационных технологий № 20 г. Москвы *А. Л. Гурвиц*;  
зав. отделом ОАО «ЭНИМС» *Б. В. Родионов*

**Босинзон М. А.**

Б85

Современные системы ЧПУ и их эксплуатация : учеб. пособие для нач. проф. образования / М. А. Босинзон ; под ред. Б. И. Черпакова. — 5-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 192 с.

ISBN 978-5-7695-9473-1

Приведены общие сведения и характеристики современных устройств ЧПУ, систем управления металлорежущими станками, станочными модулями, автоматизированными участками и автоматизированными производствами. Отражена специфика профессии оператора станков с ЧПУ.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования. Может быть полезно станочникам широкого профиля, наладчикам, мастерам, инженерам-конструкторам, технологам и программистам.

*Учебное издание*

УДК 621.7(075.32)

ББК 34.5я722

**Босинзон Марк Аркадьевич**

**Современные системы ЧПУ и их эксплуатация**

**Учебное пособие**

5-е издание, стереотипное

Редактор *Л. А. Левченко*. Технический редактор *Н. И. Горбачева*

Компьютерная верстка: *С. Ф. Блудова*

Корректоры *Т. Н. Морозова*, *С. Ю. Свиридова*

Изд. № 105112119. Подписано в печать 30.07.2012. Формат 60 × 90/16. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 12,0. Тираж 1000 экз. Заказ №

ООО «Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)

125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 26 б.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 116068 от 06.03.2012.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page - [www.tverpk.ru](http://www.tverpk.ru) Электронная почта (E-mail) - [sales@tverpk.ru](mailto:sales@tverpk.ru)

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Босинзон М. А., 2006

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2006

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2006

**ISBN 978-5-7695-9473-1**

Начало промышленного применения станков с числовым программным управлением (ЧПУ) относится к концу 1950-х гг. На этом этапе автоматизации производства станки с ЧПУ пришли на смену копировально-фрезерным станкам при обработке фасонных поверхностей: шаблон заменила магнитная или перфорированная лента, которая позволила ввести числовой (цифровой) метод задания программы (информации). Появились микропроцессорные средства управления для реализации приема, обработки и передачи цифровой информации.

Микропроцессорные системы ЧПУ так же, как и вычислительные машины, характеризуются аппаратными средствами и программным обеспечением (ПО), в которое входят алгоритм функционирования и программы, их реализующие. Отличие каждой группы систем ЧПУ в основном заключается в отличии ПО и определяет качественные изменения систем. В последние годы намечилось сокращение числа аппаратных исполнений устройств ЧПУ с увеличением модификаций той части ПО, которая определяется видом технологического оборудования.

Следует отметить ускоренные темпы развития электроники, что приводит к быстрому моральному старению аппаратных средств. Увеличение быстродействия микропроцессоров, рост степени их интеграции позволили создать новые структуры устройств ЧПУ и на их основе развить ПО для расширения сервисных задач устройств ЧПУ и технологических функций станка. Можно выделить три класса структур, охватывающих системы ЧПУ разных поколений:

- однопроцессорные моноблочного исполнения;
- мультипроцессорные блочного и блочно-модульного исполнения (с независимыми процессорами);
- локально-распределенные модульного исполнения.

Основными тенденциями развития систем и устройств ЧПУ являются увеличение вычислительной мощности, а следовательно, и повышение универсальности аппаратных средств и ПО без ориентации на определенный вид оборудования. Различия между системами ЧПУ отдельных групп станков все более сглаживаются.

Наиболее перспективными являются блочные и блочно-модульные устройства ЧПУ (мультипроцессоры), позволяющие реали-

зовать ряд новых функций управления станками. Наличие отдельного процессора у дисплейного блока сделало возможным введение программы с графическим отображением на дисплее траектории движения инструмента. Создание процессорных модулей управления приводами в блочно-модульных системах привело к расширению числа управляемых координат. Увеличение объемов памяти позволило организовать хранение информации, необходимой для функционирования в условиях «безлюдной» технологии.

Мультипроцессорные системы позволяют организовать многопрограммную обработку, например у обрабатывающих центров, различными шпинделями. При этом каждый шпиндель перемещается по своей программе.

Наличие отдельного дисплейного процессора сделало возможным введение новой управляющей программы во время обработки по другой программе.

Создание программно-математического обеспечения микропроцессорного устройства ЧПУ — весьма трудоемкий и дорогостоящий процесс и выполняется программистом, отладка программы на станке ведется с участием рабочего-оператора.

Программное обеспечение в значительной степени определяет уровень системы ЧПУ, объем ПО может варьироваться от 8... 20 Кбайт для простых систем ЧПУ первого класса до 0,5... 1,5 Мбайт и более для многокоординатных сложных станков.

Создание развитого ПО устройств ЧПУ связано с большими затратами: общая трудоемкость процесса программирования может составлять сотни человеколет для наиболее сложных станков, например станков типа обрабатывающий центр (ОЦ). Поэтому построение ПО выполняется по блочно-модульному принципу с максимальной независимостью модулей и обеспечением их универсальности с перспективой применимости к станкам разных видов и другому технологическому оборудованию. С этой точки зрения ПО устройств ЧПУ можно разделить на две большие группы, к первой отнести системное (базовое) ПО, общее для разных видов оборудования, а ко второй — групповое (технологическое) ПО, ориентированное на определенную группу станков, и функциональное, относящееся к конкретному станку. При этом следует отметить, что ПО, которым пользуется оператор станка, является лишь малой долей общего программно-математического обеспечения.

Применение станков с ЧПУ позволяет получать значительный экономический эффект и высвободить большое число оборудования с ручным управлением. Эффективность станков с ЧПУ, по отечественным и зарубежным данным, характеризуется ростом производительности; числом заменяемых универсальных станков с ручным управлением; сокращением сроков подготовки производства и технологической оснастки; уменьшением брака; обеспечением взаимозаменяемости деталей; сокращением или полной

ликвидацией разметочных и слесарно-подгоночных работ; обеспечением существенного уменьшения трудоемкости изготовления и повышения производительности труда.

Опыт использования станков с ЧПУ показал, что эффективность их применения особо возрастает при требуемом повышении точности, усложнении условий обработки, при необходимости в процессе обработки взаимного перемещения детали и инструмента в пяти-шести координатах, при многоинструментальной многооперационной обработке деталей с одного станова и т. п.

Важными составляющими эффективности использования станков с ЧПУ явились значительное уменьшение доли тяжелого ручного труда рабочих, сокращение потребности в квалифицированных станочниках-универсалах, изменение состава работников металлообрабатывающих цехов. В этой связи можно выделить следующие основные направления научной организации труда при внедрении станков с ЧПУ: привлечение специалистов к непосредственному процессу изготовления деталей; организация многостаночного обслуживания; комплексная автоматизация изготовления деталей при мелко- и среднесерийном производстве с осуществлением управления работой в цехе от ЭВМ.

На основе создания управляемых от ЭВМ автоматизированных производственных систем (АПС) из станков с ЧПУ и транспортных систем решается проблема обеспечения круглосуточного использования оборудования. При этом открываются возможности обеспечения работы производственного персонала на стадии подготовки функционирования АПС, главным образом, в первую, наиболее продуктивную, смену. При такой организации труда во вторую и третью смены может работать только многочисленный штат дежурных.

Практически во всех отраслях машиностроения в последние годы применение станков с ЧПУ стало одним из главных направлений при решении задач автоматизации обработки металлов резанием.

В эксплуатации оборудования с ЧПУ заняты операторы и наладчики, мастера, инженеры-конструкторы (механики, электрики, гидравлики, расчетчики), инженеры-технологи и программисты. Эффективность работы этих специалистов, правильность принимаемых ими решений в значительной степени зависят от уровня их знаний в области создания устройств ЧПУ и эксплуатации оборудования с ЧПУ. Настоящая книга рассчитана на то, чтобы оказать содействие в систематизации знаний по этой теме.

*Доктор технических наук,  
профессор Б. И. ЧЕРПАКОВ*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современные тенденции развития машиностроительного оборудования и в первую очередь объектов металлообрабатывающей промышленности характеризуются повышением уровня автоматизации и внедрением качественно новых конструкций станков с ЧПУ. Современные достижения в области электроники, появление новых видов интегрированных микропроцессорных систем позволяют создавать эффективные системы управления и высокоточное оборудование на их базе. На предприятиях, функционирующих в новых экономических условиях, когда требуется создание высококачественной конкурентоспособной продукции, все в большей степени используются станки с ЧПУ, так как на станках с программным управлением возможна оптимальная обработка геометрически сложных деталей в условиях среднесерийного, мелкосерийного и единичного производства. Постоянное совершенствование систем ЧПУ, неуклонное повышение их надежности и снижение себестоимости делает перспективным применение систем ЧПУ также и в условиях крупносерийного переналаживаемого производства. Современный этап развития машиностроения озаменован широкой модернизацией ранее выпущенных станков с ручным управлением путем их оснащения системами ЧПУ.

В настоящее время весьма востребованными являются профессии оператора станков с ЧПУ и станочника широкого профиля. Если в условиях ручного управления станком сложную деталь мог обработать только рабочий высшего разряда, затратив много времени на подготовительные операции и подбор приспособлений, то в настоящее время при условии использования автоматизированных систем стало возможным изготовление широкой номенклатуры самых сложных изделий оператором с начальным профессиональным образованием на станке с ЧПУ за минимальное время при активном контроле точности и качества обработки.

Рассмотренные в данной книге оборудование, системы ЧПУ, комплектующие являются наиболее применяемыми в настоящее время в российской промышленности, поэтому учащиеся смогут достаточно быстро освоить методы и средства обслуживания станков, с которыми они столкнутся в условиях производства при работе на разных предприятиях, в ремонтных мастерских и др.

Конструкции устройств ЧПУ, систем управления высокого уровня постоянно развиваются и совершенствуются. Появляется новая элементная база, расширяются технологические возможности, повышаются степень автоматизации, производительность и точность обработки. Поэтому в пособии приводятся сведения о перспективах развития систем управления и новых требованиях к профессии оператора станков с ЧПУ.

Рассмотрим термины и понятия о ЧПУ.

**Металлообрабатывающим оборудованием с программным управлением** называют любые виды станков для обработки металлов резанием, например токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные, расточные, многоцелевые, электроэрозионные и т. п., а также другие виды оборудования для обработки металлов (листогибочные машины, дыропробивные прессы и др.), осуществляющие по заданной программе автоматическую обработку заготовок.

**Управляющая программа (УП)** — совокупность команд на языке программирования, соответствующая алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

**Числовое программное управление станков** — управление обработкой заготовки на станке по УП, в которой данные об обработке заданы в цифровом коде.

**Программоноситель** — носитель геометрических и технологических данных, на котором записана УП. В качестве носителя данных применяются бумажная или пластиковая перфолента, магнитная лента, магнитные диски, запоминающие устройства разных видов и типов.

**Геометрическая информация** — информация, описывающая форму, размеры элементов детали и инструмента, их взаимное расположение на столе станка.

**Технологическая информация** — информация, описывающая технологические характеристики детали и условия ее обработки.

**Кадр УП** — составляющая часть программы, вводимая и обрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды.

**Покадровая работа** — функционирование устройства ЧПУ, при котором обработка каждого кадра УП происходит после воздействия оператора.

**Работа устройства ЧПУ с ручным вводом данных** — функционирование устройства ЧПУ, при котором набор данных, ограниченный форматом кадра, выполняется вручную оператором на пульте станка.

**Работа устройства ЧПУ с ручным управлением** — функционирование устройства ЧПУ, при котором оператор управляет станком с пульта без использования числовых данных.

**Зеркальная обработка** — функционирование устройства ЧПУ, при котором рабочие органы перемещаются по траектории, пред-

ставляющей собой зеркальное отображение траектории, записанной в УП.

**Ввод УП** — ввод данных в память устройства ЧПУ с программносителя от ЭВМ верхнего ранга или с пульта оператора.

**Групповое ЧПУ станками** — числовое управление группой станков от ЭВМ, имеющей общую память для хранения программ, распределяемых по запросам от станков.

**Нулевая точка станка** — точка на узле станка, принятая за начало отсчета системы координат станка.

**Координата** — величина, определяющая положение точки в пространстве по отношению к заданной базе или началу отсчета.

**Исходная точка станка** — точка на узле станка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по УП.

**Фиксированная точка станка** — точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения рабочего органа.

**Точка начала обработки** — точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки.

**Плавающий ноль** — возможность перемещения посредством устройства ЧПУ начала отсчета перемещения рабочего органа в любое положение относительно нулевой точки.

**Дискретность задания перемещения** — минимальное перемещение рабочего органа (линейное или на угол поворота), которое может быть задано в УП.

**Дискретность отработки перемещения** — минимальное перемещение или минимальный угол поворота рабочего органа, контролируемые в процессе управления.

**Максимальное программируемое перемещение** — наибольшее перемещение рабочего органа, которое может быть задано в одном кадре УП.

**Контурная скорость** — результирующая скорость подачи рабочего органа, направление которой совпадает с направлением касательной в каждой точке заданного контура обработки.

**Коррекция положения инструмента** — изменение с пульта управления запрограммированных координат рабочего органа станка.

**Коррекция скорости подачи** — изменение с пульта оператора запрограммированного значения скорости подачи.

**Коррекция скорости главного движения** — изменение с пульта оператора запрограммированной частоты вращения главного привода.

**Отказ устройства ЧПУ** — событие, заключающееся в нарушении работоспособности устройства ЧПУ.

**Сбой устройства ЧПУ** — событие, заключающееся в кратковременном самоустранившемся нарушении работоспособности устройства ЧПУ.



**Индикатируемый сбой устройства ЧПУ** — сбой, фиксирующийся на пульте в момент его возникновения, приводящий к останову станка, т.е. к прекращению обработки детали, информация о котором высвечивается на пульте оператора.

**Неиндикатируемый сбой устройства ЧПУ** — сбой, не обнаруживаемый на пульте в момент его возникновения.

**Станочная система ЧПУ** — комплекс узлов и агрегатов, взаимодействующих между собой.

**Типовой элемент замены устройства ЧПУ (ТЭЗ УЧПУ)** — типовая минимальная составляющая часть устройства ЧПУ, которая при потере работоспособности может быть заменена аналогичной. Каждое устройство ЧПУ выдает управляющее воздействие на исполнительные органы в соответствии с УП и информацией о положении управляемого объекта.

Классификацию систем ЧПУ, применяемых в отечественном машиностроении, проводят по виду рабочих движений. Различают позиционные и контурные устройства ЧПУ.

**Позиционные устройства ЧПУ** — устройства, в которых рабочие органы могут перемещаться в заданные точки, а траектория перемещения от точки до точки задается только прямолинейным движением. Позиционные устройства ЧПУ составляют группу устройств, имеющих один общий признак — позиционирование, т.е. обеспечение точности останова перемещаемых рабочих органов в точке с заданными координатами. Скорость перемещения в позиционных устройствах не программируется и обусловлена только динамикой приводов станка. Позиционными устройствами ЧПУ оснащают сверлильные, координатно-расточные, токарные, фрезерные, шлифовальные и другие станки, работающие по прямоугольному циклу.

**Контурные прямоугольные (коллинеарные) устройства ЧПУ** — устройства, которые обеспечивают движение по одной координате. Так как в большинстве станков применяют прямоугольную систему координат, такие устройства получили название прямоугольных. В этих устройствах, так же, как и в позиционных, программируются конечные координаты перемещения, однако в УП задается скорость движения рабочего органа в соответствии с заданным режимом резания, и перемещение выполняется поочередно по каждой из координатных осей. Прямоугольные устройства ЧПУ применяют в станках фрезерной, токарной и шлифовальной групп.

**Контурные (непрерывные) устройства ЧПУ** — устройства, обеспечивающие перемещение рабочих органов из данной точки пространства по траектории, форма и конечные координаты которой заданы в УП. Контурными устройствами ЧПУ оснащают станки фрезерной и токарной групп, осуществляющих формообразование деталей сложной формы.

**Устройства адаптивного (самоприспосабливающегося) управления ЧПУ** — устройства, в которых обеспечивается автоматическое приспособление процесса обработки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям (скорость резания, подача, сила резания). Самоприспосабливающиеся устройства ЧПУ имеют систему контроля и регулирования, позволяющую осуществлять защиту от перегрузок двигателей главного движения и приводов подач, что обеспечивает высокое качество обработки и защищает станочную систему от поломок. Адаптивными устройствами ЧПУ оснащают фрезерные, расточные и многоцелевые станки.

**Оперативная система управления (ОСУ)** — устройство ЧПУ на базе микроЭВМ с подготовкой УП у станка в режиме диалога оператора с устройством ЧПУ. Оператор с помощью клавиатуры пульта устройства ЧПУ вводит данные с чертежа детали в программу управления. Оперативными устройствами ЧПУ оснащают токарные и фрезерные станки.

Другим признаком, по которому устройства ЧПУ могут быть классифицированы, является число потоков информации, циркулирующих в системе станок — устройство ЧПУ.

**Система с разомкнутым контуром** — устройство ЧПУ, в котором имеется только один поток информации. В таких системах отсутствуют измерительные устройства (датчики обратной связи), контролирующие перемещение рабочих органов. Точность воспроизведения движения рабочих органов с такой системой невысока и определяется точностью отработки команд двигателем привода подач и точностью кинематической цепи, передающей движение рабочему органу.

**Система с замкнутым контуром** — устройство ЧПУ, в котором существуют два потока информации: один вводится в устройство управления через вводное устройство от программоносителя, а другой — в устройство ЧПУ от датчиков обратной связи, определяющих действительное положение рабочих органов. При наличии рассогласования между этими потоками устройство управления воздействует на приводы подач, последние перемещают рабочие органы в нужном направлении, изменяя рассогласование до величины, близкой к нулю.

Различают устройства ЧПУ с постоянной (класс NC) и переменной (класс CNC) структурой.

**Устройство ЧПУ класса NC** основано на принципе вычислительного устройства, где все операции, составляющие алгоритм работы, выполняются параллельно с помощью отдельных цепей или устройств, реализующих ту или иную функцию (агрегатно-блочное построение). Эти устройства называют также устройствами ЧПУ с жесткой структурой. Базовые модели таких устройств (H22 и H33) содержат микроэлектронику и при их использова-

нии вмешательство оператора в процесс обработки весьма ограничено.

**Устройство ЧПУ класса CNC** (с переменной структурой) соответствует структуре управляющей ЭВМ, включающей в себя вычислительное устройство (процессор), блоки памяти и блоки ввода-вывода информации. При этом объем функций, характер проводимых операций и их последовательность определяются программами функционирования, которые введены в блок памяти.

Устройства класса CNC расширяют функциональные возможности программного управления. При этом появляются функции, которые раньше не могли быть реализованы: хранение УП и ее редактирование на рабочем месте, расширение возможности индикации на дисплее, диалоговое общение с оператором, широкие возможности коррекции, в том числе и погрешностей станка, система диагностики неисправностей, возможность изменения программным способом функций системы управления при ее эксплуатации, реализация функций электроавтоматики и др.

# СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ И СТАНОЧНЫМИ СИСТЕМАМИ

---

### 1.1. Этапы создания и совершенствования систем программного управления и их роль в автоматизации и повышении технического уровня металлорежущего оборудования

Под *управлением* станками и станочными комплексами принято понимать совокупность воздействий на их механизмы, обеспечивающих выполнение этими механизмами технологического цикла обработки, а под *системой управления* — устройство, реализующее эти воздействия. Применительно к отдельным станкам различают два вида управления — ручное и автоматическое.

*Ручное управление* основывается на том, что решения об использовании тех или иных элементов рабочего цикла принимает человек — оператор станка. Оператор на основании принятых решений включает соответствующие механизмы станка и задает параметры их работы.

При ручном управлении используют разные устройства — механические, гидравлические, пневматические, электрические, электронные и комбинированные.

Операции ручного управления осуществляются как в неавтоматических универсальных и специализированных станках различного назначения, так и в автоматических станках.

В автоматических станках ручное управление используется для реализации наладочных режимов и специальных элементов рабочего цикла.

В современных станках ручное управление часто сочетается с цифровой индикацией информации, поступающей от датчиков положения исполнительных органов.

*Автоматическое управление* заключается в том, что решения об исполнении элементов рабочего цикла принимает система управления без участия оператора. Она же выдает команды на включение и выключение механизмов станка и управляет его работой.

По функциональному назначению автоматическое управление можно разделить следующим образом:

1) управление неизменными повторяющимися циклами обработки (например, управление агрегатными станками, выполняю-

щими фрезерные, сверлильные, расточные и резбонарезные операции путем осуществления циклов движения многошпиндельных силовых головок);

2) управление изменяемыми автоматическими циклами, которые задают в виде индивидуальных для каждого цикла материальных моделей-аналогов (копиров, наборов кулачков, системы упоров и т.д.). Примером циклового управления станков являются системы управления копировальных токарных и фрезерных станков, многошпиндельные токарные автоматы и др.;

3) ЧПУ, при котором программу задают в виде записанного на том или ином носителе массива информации. Управляющая информация для систем ЧПУ является дискретной, и ее обработка в процессе управления осуществляется цифровыми методами.

На машиностроительных предприятиях эксплуатируются станки с системами программного управления разных годов выпуска, т.е. с системами управления разных поколений. Знание этапов развития устройств управления позволяет принимать правильное решение по организации эксплуатации и модернизации оборудования.

Разнообразие систем программного управления объясняется, главным образом, их быстрым моральным старением, обусловленным бурным развитием электроники. Об основных этапах создания и совершенствования средств вычислительной техники можно судить по данным табл. 1.1.

Создание систем программного управления явилось своеобразным переломным моментом, ознаменовав начало качественно нового этапа развития станкостроения. Сочетание высокой производительности, присущей специальным станкам, с гибкостью производства, свойственной универсальному оборудованию, сделало станки с ЧПУ главным средством автоматизации производства.

Следует выделить следующие преимущества станков с ЧПУ в сравнении со станками с ручным управлением:

- производительность станка повышается в 1,5—2,5 раза;
- гибкость производства, оснащенного универсальным оборудованием, сочетается с точностью и производительностью станка-автомата;
- снижается потребность в высококвалифицированных рабочих-станочниках;
- автоматизируется этап подготовки производства;
- появляется возможность автоматического контроля и диагностики оборудования и процесса обработки;
- детали, изготовленные по одной программе, являются взаимозаменяемыми, что сокращает время пригоночных работ в процессе сборки;

Поколения ЭВМ и их основные характеристики

Характеристика	Поколения ЭВМ			
	Первое (1949 — 1958)	Второе (1959 — 1963)	Третье (1964 — 1976)	Четвертое (1977 — ...)
Элементная база ЭВМ	Электронные лампы, реле	Транзисторы, параметроны	ИС, БИС	СБИС
Производительность ЦП, операций/с	До $3 \cdot 10^5$	До $3 \cdot 10^6$	До $3 \cdot 10^7$	Более $3 \cdot 10^7$
Тип ОП	Триггеры, ФС	Миниатюрные ФС	Полупроводниковая на БИС	Полупроводниковая на СБИС
Объем ОП	До 64 Кбайт	До 512 Кбайт	До 16 Мбайт	Более 16 Мбайт
Характерные типы ЭВМ	—	Малые, средние, большие, специальные	Большие, средние, мини- и микроЭВМ	СуперЭВМ, ПК, специальные, общие, сети ЭВМ
Типичные модели ЭВМ	EDSAC, ENIAC, БЭСМ	RCA-502, IBM 7090, БЭСМ-6	IBM 360, ЕС-ЭВМ, СМ-ЭВМ	IBM PC/XT/AT
Характерное программное обеспечение	Коды, автокоды, ассемблеры	Языки программирования, диспетчеры, АСУ, АСУ ТП	ППП, СУБД, САПРы	БЗ, ЭС, системы параллельного программирования

Примечание. ЦП — центральный процессор; ОП — оперативная память; ФС — ферритовые сердечники; ИС — интегральные схемы; БИС — большие интегральные схемы; СБИС — специализированные большие интегральные схемы; ПК — программируемый контроллер; ППП — промышленные программы программирования; СУБД — система управления базами данных; САПР — системы автоматизированного проектирования изделий; БЗ — база знаний; ЭС — электронная система.

- сокращаются сроки подготовки и перехода на изготовление новых деталей благодаря более простой и универсальной технологической оснастке;

- снижается продолжительность цикла изготовления деталей.

Важным достоинством станков в ЧПУ является возможность их встройки в централизованные системы управления производством. В современных условиях эффективного использования информационных технологий обеспечивается возможность непосредственного прямого управления станков с ЧПУ из диспетчерского центра. Система ЧПУ кроме функций непосредственного управления технологическим процессом может выполнять задачи сбора и обработки информации о числе и качестве обработанных деталей, времени простоя и технического обслуживания станка.

Возможность создания станков с ЧПУ была обусловлена развитием электроники и вычислительной техники. Промышленное освоение полупроводниковых элементов, а затем интегральных схем позволило разработать устройства высокой надежности и малых габаритных размеров. В начале 1960-х гг. появились первые универсальные транзисторные ЭВМ и были созданы устройства ЧПУ на полупроводниковых элементах, а в течение 1970-х гг. начинают осваиваться интегральные элементы, причем степень их интеграции непрерывно растет, появились ЧПУ на элементах средней и затем большой степени интеграции.

Применение универсальных ЭВМ для расчета программ позволило повысить эффективность станков с ЧПУ и улучшить организацию технологического процесса. Задание программ в числовом виде вызвало изменение всего процесса организации производства, способов подготовки и передачи информации о технологии и геометрии обрабатываемой детали.

Можно выделить четыре главных этапа развития станков с ЧПУ.

*Первый* — начало промышленного выпуска станков с ЧПУ. В этот период используются устройства программного управления на дискретной полупроводниковой технике и применяются методы ручной подготовки управляющих программ. На заводах создаются бюро по подготовке программ. Первые промышленные образцы отечественных станков с ЧПУ были созданы в ЭНИМСе<sup>1</sup> в 1956—1957 гг. С 1959 г. начинается серийный выпуск станков с ЧПУ.

*Второй* — широкое внедрение станков с ЧПУ в промышленность. В этот период применяются устройства ЧПУ на интегральных элементах. Осваиваются системы подготовки управляющих программ с автоматическим расчетом траектории движения (формообразования) на ЭВМ по данным чертежа. Расширяются типаж станков с ЧПУ и области их применения.

---

<sup>1</sup> Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков.

*Третий* — системы ЧПУ выполняются на элементах средней (СИС), а затем большой (БИС) степени интеграции, микропроцессорах и на базе микроЭВМ. Расширяется номенклатура многоцелевых (многооперационных) станков с инструментальными магазинами и автоматической сменой инструмента. Появляются станочные модули, оснащенные устройствами с автоматической загрузкой заготовок и выгрузкой готовых деталей. Станки объединяются в участки, управляемые от ЭВМ. Разрабатываются системы автоматической подготовки программ обработки.

*Четвертый* — создание гибких производственных модулей (ГПМ) и гибких производственных систем (ГПС) на основе включения станочных роботизированных модулей в общую схему автоматизированного управления. Появились полностью автоматизированные цеха и заводы, увеличился объем математического обеспечения систем ЧПУ, появились многоуровневые системы управления, созданы автоматизированные системы управления производством (АСУП), а также системы автоматизированного проектирования изделий (САПР), изготавливаемых на этом производстве.

Системы ЧПУ первого поколения имели элементную базу на дискретных полупроводниковых элементах (транзисторах). Ввод программы в этих системах осуществлялся на магнитной ленте в унитарном коде или в фазовом виде. Моделями устройств ЧПУ первого поколения являются ПРС-1-58, ПРС-3К, К-4МИ. В то же время в устройствах ЧПУ первого поколения К2П-67, К3П-68, УМС-2 ввод программы осуществлялся уже на пятидорожечной перфоленте (код БЦК-5).

Системы ЧПУ второго поколения имели элементную базу малой (серия 155) и средней (серия 176) степени интеграции, с помощью которых осуществлялась схемная реализация алгоритмов управления. К моделям устройств ЧПУ второго поколения можно отнести Н22, Н33, Н55, П-33, «Размер 2». В устройствах ЧПУ второго поколения Н22, Н33 ввод программы осуществлялся на восьмидорожечной перфоленте (код ISO 7).

Системы ЧПУ третьего поколения создавались на базе микроЭВМ («Электроника-60», «Электроника НЦ-03» и др.), БИС (серия 589 и др.). Эти системы ЧПУ имели расширенные технологические возможности, осуществлялась программная реализация алгоритмов управления. К моделям устройств ЧПУ третьего поколения можно отнести 15МП, «Размер 4М», 2С42, 2С85, 2У32, 2МЧ3, «Электронику НЦ-31». В устройствах ЧПУ третьего поколения ввод программы осуществлялся как на перфоленте, так и с помощью клавиатуры. Системы ЧПУ начинают оснащаться дисплейно-диалоговыми системами задания УП с графическим отображением детали на экране. Появляются оперативные системы ЧПУ, на которых программирование простых деталей может осуществляться непосредственно на станке с использованием типовых циклов.



Для систем ЧПУ четвертого поколения характерно блочное мультипроцессорное исполнение. В качестве элементной базы используются специальные БИС и микроЭВМ. Программирование технологических функций и диалоговых режимов осуществляется на языках высокого уровня. К моделям устройств ЧПУ четвертого поколения можно отнести «Электронику МС2101», 3С100, 3С200. В устройствах ЧПУ четвертого поколения ввод программы осуществлялся электронной кассетой или кассетой на цифровых магнитных доменах.

Системы ЧПУ пятого поколения создаются на базе промышленных персональных компьютеров. В этих системах ЧПУ реализуются все современные достижения, свойственные персональным компьютерам, включая языки программирования; программно-математическое обеспечение; системы ввода, хранения и обмена информации; возможность структурного изменения; возможность выполнения функций самонастройки и адаптации и др.

Станки с ЧПУ подразделяются на следующие группы:

- станки токарной группы;
- станки сверлильно-фрезерно-расточной группы;
- станки шлифовальной группы;
- станки зубообрабатывающей группы;
- станки электрофизической группы;
- многоцелевые станки, ОЦ:
  - с ручной сменой инструмента;
  - с автоматической сменой инструмента в револьверной головке;
  - с автоматической сменой инструмента в магазине.

Станки могут оснащаться разными системами ЧПУ. В зависимости от конфигурации системы управления обозначения металлообрабатывающих станков могут быть следующие: Ф1 — станки с цифровой индикацией, в том числе с предварительным набором координат; Ф2 — станки с позиционными прямоугольными системами управления координат; Ф3 — станки с контурными прямолинейными и криволинейными системами управления координат; Ф4 — станки с универсальными системами управления координат для позиционно-контурной обработки.

Для характеристики станков с ЧПУ используют следующие показатели:

- класс точности: Н — станок нормальной точности, П — повышенной, В — высокой, А — особо высокой, С — сверхвысокой точности (мастер-станок);
- технологические операции, выполняемые на станке: фрезерование, шлифование и т.п.;
- основные параметры станка:
  - для патронных станков — наибольший диаметр устанавливаемого изделия над станиной, наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной;

для центровых и патронных станков — наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом;

для прутково-токарных станков — наибольший диаметр обрабатываемого прутка;

для расточно-фрезерных станков — габаритные размеры (длина, ширина) рабочей поверхности стола, диаметр рабочей поверхности круглого поворотного стола;

для сверлильных станков — наибольший условный диаметр сверления, диаметр выдвигаемого шпинделя и т.д.;

- величины перемещений рабочих органов станка — суппорта по двум координатам, стола по двум координатам, шпиндельного узла по линейной и угловой координатам и т.д.;

- величина дискретности (цена деления) — минимальное задание перемещения по программе (шаг);

- точность и повторяемость позиционирования по управляемым координатам;

- привод главного движения — тип, номинальное и максимальное значения мощности, пределы скоростей вращения шпинделя (ступенчатое или бесступенчатое), число рабочих скоростей, число автоматически переключаемых скоростей;

- привод подачи станка — координата, тип, номинальный и максимальный моменты, пределы скоростей рабочих подач и число скоростей рабочих подач, скорость быстрого перемещения;

- число инструментов — в резцедержателе, револьверной головке, инструментальном магазине;

- вид смены инструмента — автоматический, ручной;

- габаритные размеры станка и его масса.

На базе станков с ЧПУ созданы следующие станочные модули и станочные комплексы, предназначенные для автоматизированной обработки деталей (в скобках приведены общепринятые международные обозначения систем):

ГПМ (FMM) — гибкий производственный модуль — единица технологического оборудования с системой автоматической загрузки/выгрузки деталей, локальным накопителем, транспортером деталей и инструмента;

ГАЛ — гибкая автоматическая линия — система, включающая в себя несколько ГПМ, с общими управлением от ЭВМ, транспортной системой и складом заготовок. ЭВМ выполняет функции хранения и передачи к устройству ЧПУ станков управляющих программ, а также осуществляет текущее диспетчирование и оперативное планирование;

ГПС (FMS) — гибкая производственная система — комплекс технологического оборудования и системы управления от ЭВМ, обладающий свойством автоматизированной переналадки;

ГАЦ (FMF) — гибкий автоматизированный цех — система, включающая в себя несколько ГАЛ и ГПМ с общими транспорт-

**Области применения автоматизированного оборудования с ЧПУ**

Вид оборудования	Число деталей в партии	Число партий деталей в год
Станок с ЧПУ	Менее 100	Более 500
ГПМ	От 25 до 500	От 40 до 800
ГАЛ	От 200 до 2 000	От 4 до 100
ГАЦ	От 1 000 до 15 000	От 2 до 10
АЗ	Более 2 000	Менее 2

ной системой, складом, многоуровневой (иерархической) системой управления от ЭВМ;

АЗ — автоматический завод — система, состоящая из ГАЦ, в том числе цеха автоматической сборки и упаковки готовой продукции. Центральная ЭВМ осуществляет управление всеми подразделениями завода и долгосрочное планирование.

В табл. 1.2 приведены рекомендуемые области рационального применения разных видов автоматизированного оборудования с ЧПУ для обработки корпусных деталей.

## **1.2. Классификация и основные виды систем программного управления**

По технологическому назначению и функциональным возможностям системы ЧПУ можно подразделить на следующие группы:

- позиционные, в которых задаются координаты только конечных точек положения исполнительных органов после выполнения ими тех или иных элементов рабочего цикла;
- контурные, или непрерывные, которые управляют движением исполнительного органа по заданной криволинейной траектории;
- универсальные (комбинированные), в которых осуществляется программирование перемещений при позиционировании, движения исполнительных органов по траектории, а также смены инструментов и загрузка-выгрузка заготовок.

Примером применения систем ЧПУ первой группы являются сверлильные, расточные, координатно-расточные станки. Примером второй группы служат системы ЧПУ токарных, фрезерных и шлифовальных станков. К третьей группе относятся системы ЧПУ многоцелевых токарных и расточно-фрезерных станков типа ОЦ.